

Libro de actas de las
Jornadas Nacionales de
Robótica 2017



Jornadas Nacionales de Robótica

Spanish Robotics Conference

8-9 Junio 2017



Jornadas Nacionales de Robótica

Spanish Robotics Conference

8-9 Junio 2017

Valencia

Organizado por:

Universitat Politècnica de València

Instituto Universitario de Automática e Informática Industrial

Comité Español de Automática

Grupo Temático de Robótica



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Título: Libro de actas de las Jornadas Nacionales de Robótica 2017

Editores: Martin Mellado Arteché, Antonio Sánchez Salmerón, Enrique J Bernabeu Soler

Editorial CEA-IFAC

ISBN: 978-84-697-3742-2

Este documento está regulado por la licencia *Creative Commons*



ÍNDICE

PRÓLOGO	3
BIENVENIDA	4
PRESENTACIÓN	5
COMITÉS.....	6
I. Comité Organizador	6
II. Comité Científico	6
III. Comité Local.....	7
COLABORADORES	8
I. Sociedades Colaboradoras	8
II. Entidades Colaboradoras.....	9
III. Empresas Colaboradoras	10
PONENCIAS INVITADAS	11
Soft Robotics: scientific questions, technological challenges and new robotics scenarios.....	11
Robotic activities in ITER	13
Real-Time Navigation approaches in Large Scale Dynamic Environments	14
SESIONES TÉCNICAS	15
SESIÓN 1A. Proyectos I+D: Interfaces hombre-máquina.....	15
SESIÓN 1B. Proyectos I+D: Aplicaciones marinas y agrícolas	16
SESIÓN 2A. Proyectos I+D: Robótica médica y asistencial.....	17
SESIÓN 2B. Diseño robots y manipulación.....	18
SESIÓN 3A. Robots rehabilitación (I).....	19
SESIÓN 3B. Robots autónomos-móviles	20
SESIÓN 4A. Robots rehabilitación (II).....	21
SESIÓN 4B. Sensorización avanzada.....	22
SESIÓN 5A. Proyectos Europeos: Robótica social-asistencial.....	23
SESIÓN 5B. CDTI: Líneas de apoyo abiertas en Robótica	24
SESIÓN 6A. Proyectos Europeos: Robots móviles-autónomos.....	25
SESIÓN 6B. Presentaciones de empresas: ABB, INTRA, Stäubli	26
SESIÓN 7A. Proyectos Europeos: Robótica: aplicaciones	27
SESIÓN 7B. Presentaciones de empresas: OMRON, UR – CFZ Cobots	28
ACTIVIDADES ADICIONALES	29

Jueves 8 de Junio, 16:30-17:30

SESIÓN 3B. ROBOTS AUTÓNOMOS-MÓVILES

Salón de Actos CPI (Moderador: Fernando Gómez)

#14 Arquitectura para Comportamientos de Robots Basados en la Ejecución de Servicios Distribuidos

Eduardo Munera, Jose-Luis Poza-Luján, Juan-Luis Posadas-Yagüe, José Simó, J. Francisco Blanes

Instituto de Automática e Informática Industrial (ai2), Universitat Politècnica de València

#7 Mobile Manipulators as Robot Co-workers: Autonomy and Interaction in the Human-Robot Collaboration

Jan Rosell, Emmanuel Nuño, Josep A. Claret, Isiah Zaplana, Néstor García, Aliakbar Akbaria, Muhayyuddin, Leopold Palomo, Alexander Pérez, Orestes Mas, Luis Basañez

Instituto de Organización y Control de Sistemas Industriales, Universitat Politècnica de Catalunya

Departamento de Ciencias Computacionales, Universidad de Guadalajara (México)

Escuela Colombiana de Ingeniería "Julio Garavito" (Colombia)

#18 Creación de mapas topológicos a partir de la apariencia global de un conjunto de escenas

Luis Payá, Oscar Reinoso, David Valiente, David Úbeda, José M. Marín

Depto. de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Miguel Hernández de Elche

#33 Proyecto PRIC: Protección Robotizada de Infraestructuras Críticas

Juan Jesús Roldán, Mario Garzón, Jorge de León, David Garzón-Ramos, Andrés Martín-Barrio, Silvia Terrile, Pablo Garcia-Aunon, Jaime del Cerro, Claudio Rossi, Antonio Barrientos

Grupo de Robótica y Cibernética, Universidad Politécnica de Madrid

Centro de Automática y Robótica (UPM-CSIC)

Proyecto PRIC: Protección Robotizada de Infraestructuras Críticas

Juan Jesús Roldán, Mario Garzón, Jorge de León, David Garzón-Ramos, Andrés Martín-Barrio, Silvia Terrile, Pablo García-Aunon, Jaime del Cerro, Claudio Rossi, Antonio Barrientos^{a,1}*

^a Grupo de Robótica y Cibernética, Universidad Politécnica de Madrid, Centro de Automática y Robótica (UPM-CSIC)
C/ José Gutiérrez Abascal, nº2, 28006, Madrid, España.

Resumen

Esta comunicación resume los trabajos realizados por el Grupo de Robótica y Cibernética (RobCib) del Centro de Automática y Robótica (CAR), formado por UPM y CSIC, en el contexto del proyecto PRIC (Protección Robotizada de Infraestructuras Críticas). Este proyecto tiene como objetivo el desarrollo de sistemas robóticos capaces de vigilar las infraestructuras críticas, detectando las potenciales amenazas e interviniendo cuando sea necesario. Algunos de estos trabajos están encaminados a la detección de anomalías visuales y acústicas, la detección, predicción e interceptación de intrusos, el desarrollo de un robot de pequeño tamaño y un manipulador híper-redundante para intervenir en áreas de difícil acceso, el diseño de una interfaz para misiones multi-robot y la adaptación de herramientas comunes en el mundo de la robótica a los escenarios multi-robot. Copyright © 2017 CEA

Palabras Clave:

Robótica, robots móviles, robots manipuladores, robots aéreos, interfaces, vigilancia autónoma, seguridad, búsqueda y rescate.

Datos del Proyecto:

Denominación del proyecto: Protección Robotizada de Infraestructuras Críticas

Referencia: DPI2014-56985-R

Investigador/es responsable/es: Antonio Barrientos, Claudio Rossi

Tipo de proyecto (internacional, nacional, autonómico, transferencia): Nacional

Entidad/es financiadora/s: Ministerio de Economía y Competitividad, Gobierno de España.

Fecha de inicio/fin: 01/01/2015-31/12/2017

1. Introducción

Las infraestructuras críticas son activos fundamentales para el mantenimiento de las funciones vitales de la sociedad: la salud, la seguridad o el bienestar de las personas. Sin embargo, estas infraestructuras están amenazadas por multitud de peligros: desde averías hasta acciones terroristas.

El proyecto PRIC (Protección Robotizada de Infraestructuras Críticas) plantea la aplicación de robots a la protección de estas infraestructuras críticas. En concreto, el proyecto propone el uso una flota compuesta por robots terrestres, aéreos y manipuladores para detectar de forma activa anomalías o amenazas, reunir toda la información de ellas y, si fuera posible, intervenir para contrarrestarlas. A continuación se enumeran los principales objetivos del proyecto:

1. Desarrollo de algoritmos capaces de detectar amenazas o anomalías en las infraestructuras críticas mediante información visual o acústica.
2. Desarrollo de algoritmos para detección de intrusos, estimación de trayectorias e interceptación de forma cooperativa.
3. Desarrollo de técnicas de planificación de tareas de patrullaje distribuidas y no deterministas para vigilar un área de forma eficiente y robusta.
4. Desarrollo de un robot de pequeño tamaño capaz de desplazarse por caminos estrechos y alcanzar zonas de difícil acceso en tareas de búsqueda y rescate.
5. Desarrollo de un manipulador híper-redundante bioinspirado para ser embarcado en un robot terrestre y acceder a lugares difíciles.
6. Desarrollo de una interfaz capaz de gestionar la gran cantidad de información que genera una misión multi-robot y mostrar al operador la más relevante.
7. Evolución de herramientas como ROS, DDS o CBML para su adaptación a sistemas multi-robot y tareas de protección de infraestructuras.

Estos objetivos del proyecto PRIC son abordados en los siguientes apartados. El apartado 2 se centra en la detección de anomalías y amenazas. El apartado 3 aborda la vigilancia autónoma y las tareas que la componen: detección, predicción, interceptación y seguimiento. El apartado 4 describe el diseño del robot de búsqueda y rescate. El apartado 5 detalla el diseño del manipulador híper-redundante. El apartado 6 explica los desarrollos relacionados con interfaces multi-robot. El apartado 7 analiza la implementación de Robot Operating System (ROS) en sistemas multi-robot. El apartado 8 resume las pruebas del sistema y los resultados que se han obtenido. Por último, el apartado 9 muestra algunas conclusiones del proyecto.

¹ Correos electrónicos: [jj.rolდან@upm.es](mailto:jj.rolدان@upm.es) (Juan Jesús Roldán), ma.garzon@upm.es (Mario Garzón), jorge.deleon@upm.es (Jorge De León), dgarzon@etsii.upm.es (David Garzón-Ramos), andresmb@etsii.upm.es (Andrés Martín-Barrio), silvia.tertile@etsii.upm.es (Silvia Terrile), pablo.garcia.aunon@upm.es (Pablo García-Aunon), j.cerro@upm.es (Jaime del Cerro), claudio.rossi@upm.es (Claudio Rossi), Antonio.barrientos@upm.es (Antonio Barrientos)

2. Detección de anomalías y amenazas

El primer requisito para un sistema de vigilancia es la detección de cualquier evento que pueda suponer una amenaza para la infraestructura. El proyecto PRIC tiene en cuenta tanto la entrada de intrusos que puedan actuar contra la infraestructura como la aparición de anomalías en el funcionamiento de la misma.

2.1. Detección de intrusos

La literatura sobre identificación de peatones, que pueden ser considerados intrusos en un escenario de vigilancia, es relativamente extensa. Las principales técnicas están basadas en visión por computador (Dollar et al. 2012) y, en general, son costosas en términos de computación. Una alternativa es el uso de escáneres láser (Xavier et al. 2005), aunque este tipo de detección es menos robusta.

En este proyecto se plantea una estrategia basada en la fusión de información proveniente de ambos sensores. De esta manera, se consigue la robustez de la detección por cámaras de video, a la vez que se reduce el coste computacional aprovechando la información del escáner láser.

Este algoritmo presenta dos novedades principales. La primera consiste en un mecanismo para la proyección adaptativa de las regiones de interés, que aborda el problema de la localización vertical de una proyección del láser en un plano de imagen. Y la segunda consiste en una etapa de calibración probabilística, que se aplica antes de la fusión con el fin de reducir la redundancia y la correlación entre dos fuentes de información (Fotiadis et al. 2013).

Una vez se realiza la detección de los peatones, se debe mantener una lista actualizada de los mismos, incluyendo su posición y velocidad. Para ello, se ha desarrollado un algoritmo que procesa las observaciones y determina si cada observación corresponde o no a un peatón detectado anteriormente. Este algoritmo introduce un nuevo procedimiento de emparejamiento discriminativo que tiene en cuenta la incertidumbre de la detección. Esto significa que detecciones con alta certeza se utilizan para confirmar la presencia de un humano en la escena, mientras que aquellas con baja certeza se utilizan para mantener el seguimiento a mayor distancia de los sensores (Garzón et al. 2015).

2.2. Detección de anomalías

El objetivo del trabajo realizado es la identificación de anomalías (diferencias) sonoras durante las patrullas de vigilancia del robot. Así, por ejemplo, en lugares en los que se puede percibir gente hablando, vehículos en movimiento o máquinas en funcionamiento, se trata de distinguir ese nivel de sonido habitual de otras circunstancias como portazos, disparos o golpes.

Para ello, lo primero que se hace es una extracción de hasta quince características para cada punto de control. Estas características pueden ser clasificadas en tres grandes categorías: características de percepción, como volumen, tono, Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) o secuencias sonoras específicas que se repitan en el tiempo; características espectrales, como momentos espectrales y densidad espectral; y, por último, características de energía, como “Short Time Energy” (STE). Durante la primera vigilancia, supuesta en

condiciones normales, el robot extrae para cada posición de control una serie de características en base a una serie de muestras de corta duración. Una vez extraídas estas muestras sonoras, se generan de forma artificial mezclas de dichas muestras con sonidos concretos (disparos, golpes, voces humanas, etc.) y se realiza un proceso de aprendizaje utilizando catorce técnicas de clasificación de forma simultánea (árboles de decisión, análisis de discriminantes, máquinas de vectores de soporte, etc.). El clasificador que consigue mejor eficiencia es elegido para cada posición, almacenándose sus parámetros. De esta forma, durante la vigilancia se presentan muestras de sonido de cada punto al clasificador, si éste determina una anomalía se presenta al usuario para que confirme la anomalía. La muestra clasificada como anomalía o no por el operador se utiliza para entrenar de nuevo el clasificador de posición de vigilancia determinada.

Esta sistemática se ha implementado en Matlab, integrándose en el sistema mediante la implementación del servicio a través de un nodo de ROS.

3. Vigilancia autónoma

La mayoría de los sistemas para tareas de vigilancia utilizados actualmente funcionan mediante comportamientos reactivos. Estos sistemas utilizan sensores de movimiento, cámaras de video u otro tipo de sensores para generar señales de alerta. Estas señales deben ser constantemente monitorizadas por operadores humanos, que se encargan de responder a las intrusiones y las posibles amenazas.

La utilización de robots móviles y técnicas de automatización e inteligencia artificial permite mejorar considerablemente las capacidades de los sistemas de vigilancia, de modo que tanto la detección como la reacción a posibles irrupciones puede ser llevada a cabo de manera autónoma, aumentando la eficiencia del sistema al tiempo que se reduce el riesgo para los operadores.

Esta integración de diferentes tecnologías en sistemas de vigilancia es un objetivo muy amplio y es uno de los ejes de trabajo del proyecto PRIC, en el que se están desarrollando algoritmos o sistemas que abordan algunas de las tareas necesarias para lograr esta meta. Las aportaciones del proyecto en esta línea de trabajo se pueden dividir en dos tareas principales, que pueden ser ejecutadas de manera independiente o pueden también integrarse en un sistema completo.

3.1. Predicción de trayectorias

Los desarrollos previos para la estimación de la trayectoria de un intruso plantean estimaciones a corto plazo o ignoran las restricciones del entorno, ya que en su mayoría se utilizan para el seguimiento de peatones. Las herramientas más comunes para esta tarea son el filtro de Kalman (Ueda et al. 2011), los filtros de partículas (Ueda et al. 2011) o los esquemas bayesianos secuenciales (Wu et al. 2013).

El módulo de predicción de trayectorias desarrollado en este proyecto se basa en una comparación de la trayectoria observada hasta el momento con las posibles trayectorias generadas por un algoritmo de planificación (figura 1). Esta comparación se combina con un modelo de los movimientos del peatón, lo que permite obtener una estimación a largo plazo de su trayectoria futura. La principal novedad de este algoritmo es que no requiere observaciones previas para obtener la

predicción de la trayectoria, por lo que se puede adaptar a cualquier escenario utilizando solamente un mapa de costos. Además, la integración de un modelo de movimiento permite obtener una estimación del instante temporal de cada posición futura, lo cual es necesario para la tarea de interceptación.

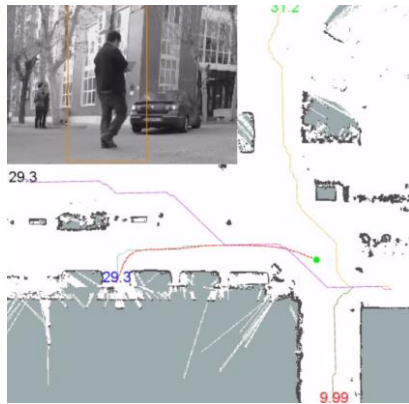


Figura 1: Detectando un intruso y prediciendo su trayectoria.

3.2. Interceptación de intrusos

La mayoría de los desarrollos para la interceptación de objetivos móviles mediante robots terrestres se aplican en entornos sencillos. Por esta razón, los algoritmos más comunes son reactivos y están basados en visual servoing (Kunwar et al. 2010) o campos de potenciales.

En este proyecto se ha desarrollado un algoritmo más complejo, que construye un árbol de posibles rutas del robot y evalúa cada una de ellas en función de su probabilidad de interceptación del peatón. Una vez evaluadas las posibles rutas, se selecciona aquella con mayor probabilidad de interceptar al peatón, evitando los obstáculos estáticos y dinámicos. Este algoritmo utiliza y mejora desarrollos previos (Garzón et al. 2013), que realizaban tareas similares en entornos más sencillos o que se utilizaban para otro tipo de tareas.

Una característica muy importante del sistema propuesto es su capacidad de ser actualizado de forma continua a medida que se está ejecutando. Esto significa que cualquier cambio en los movimientos del peatón se procesa en línea y resulta a su vez en una modificación de la trayectoria del robot perseguidor. Esto permite al sistema la realización de tareas de alto nivel como la interceptación de un intruso en un entorno complejo en presencia de obstáculos previamente desconocidos.

4. Robot de búsqueda y rescate

Cuando las medidas de protección no surten efecto y la infraestructura sufre daños debido a un ataque o un accidente, el sistema debe evaluar y reparar los daños, así como localizar y rescatar a las posibles víctimas.

La robótica de búsqueda y rescate es una aplicación que cada vez está teniendo más impacto en nuestra sociedad. Esta disciplina trata de responder con rapidez y eficacia a acontecimientos como atentados y catástrofes naturales. En estos hechos, las vidas humanas no solo corren riesgo en un momento puntual, sino también durante las tareas de búsqueda y rescate.

Los robots de rescate pueden emplearse para búsqueda, reconocimiento y mapeo, eliminación de escombros, inspección estructural, evaluación médica y evacuación de heridos,

repetición de señales, sustitución de un miembro del equipo, apuntalamiento de escombros o soporte logístico (Murphy et al. 2008).

A su vez, los robots de rescate se clasifican según dos características: el medio en el que se desplazan (terrestre – UGV, aéreo – UAV, marino de superficie – USV y submarino – UUV) y el tamaño de los mismos (man-packable, man-portable, maxi) (Murphy 2014).

El robot de búsqueda y rescate desarrollado en el contexto de este proyecto es terrestre y “man-packable”. La definición de “man-packable” implica que todo el sistema del robot, incluyendo la unidad de control, baterías y accesorios, debe ser transportable por una única persona. Estos robots son los más susceptibles de ser utilizados inmediatamente después de un desastre.

El tipo de desastre influye en la elección de los robots y cargas útiles que se emplearán. Los desastres naturales generalmente abarcan grandes áreas geográficas, por lo que disponer de una vista aérea generada por un UAV es muy valioso, ya que ayuda a conocer la situación y determinar qué áreas o personas necesitan evacuación o asistencia.

Los desastres provocados por el hombre suelen ser más concentrados y los signos de vida deben buscarse bajo los escombros producidos. En estos casos, pequeños robots pueden entrar en el interior de los escombros para analizar la situación y buscar personas, mientras otros de mayor tamaño se ocupan de retirar los escombros del exterior.

Lamentablemente, los robots convencionales tienen muchas dificultades para lograr los objetivos propuestos debido a la agresividad del terreno en el que deben desplazarse. Los medios de locomoción formados por ruedas convencionales están totalmente descartados en estas situaciones. La implementación del sistema de tracción con orugas parece una solución válida, pero los resultados obtenidos en las intervenciones han sido negativos (Murphy et al 2008).

La solución abordada en este proyecto pasa por imitar a la naturaleza y, más específicamente, al grupo de insectos que engloba a los coleópteros (escarabajos). Este grupo es el más numeroso del reino animal y ha sido capaz de estar presente en casi toda la superficie de la tierra. Sus individuos cuentan con una fisionomía en la que destacan sus 3 pares de patas y 2 pares de alas.

En la actualidad se pueden encontrar varios diseños de robots con 6 patas: DIGbot (Diller, 2010), LAURON (I-V), Stiquito (Mills, 1993), Whegs (I-II), mini Whegs y RHex. De todos ellos, el que más evolución ha tenido es el RHex, que cuenta con 8 versiones distintas (RHex original, EduBot, X-RHex, XRL, Desert RHex, SandBot, AQUA y Rugged RHex).

El RHex es un robot que se desplaza mediante 6 patas denominadas “C-legs” con un único grado de libertad. Sin embargo, el diseño de las mismas y su pequeño tamaño le proporcionan unas grandes capacidades para el movimiento.

Actualmente se está realizando un nuevo diseño para poder explorar nuevos modos de locomoción que añadan aún más maniobrabilidad a este tipo de robots (figura 2). De momento, se han podido simular varios modos nuevos con buenos resultados (De León, 2016).

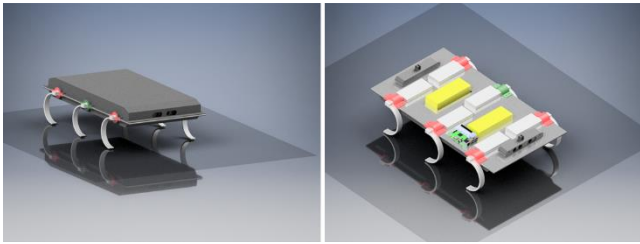


Figura 2: Diseño de robot hexápodo para búsqueda y rescate.

Además, se ha realizado un estudio para encontrar nuevos tipos de patas que sean ventajosas en algunos tipos de terreno (figura 3), así como el material con el que se deben fabricar (Tordesillas, 2016).

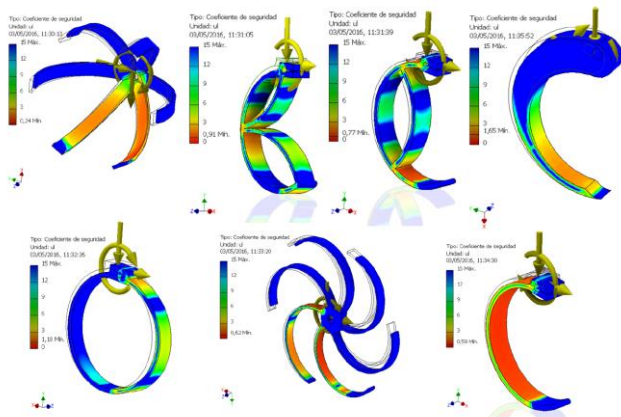


Figura 3: Estudio mecánico de diferentes geometrías de patas.

5. Manipulador híper-redundante

Los robots móviles descritos en los apartados anteriores son capaces de detectar anomalías en una infraestructura y llevar a cabo su monitorización. Sin embargo, su capacidad de intervención es limitada, ya que no pueden acceder a lugares recónditos para realizar una inspección visual o tomar una muestra. Por ello, el proyecto contempla el desarrollo de un manipulador híper-redundante y su instalación sobre uno de los robots terrestres.

En todo tipo de robots es muy importante el concepto de grado de libertad (GDL). Se trata del número de movimientos o parámetros independientes que definen la configuración del robot. En el caso de que el número de grados de libertad controlables del robot sea muy superior a los necesarios para posicionarlo y/u orientarlo como se requiere, se hablará de robots híper-redundantes o robots serpientes (Chirikjian et al. 1995).

Entre las ventajas que añaden las configuraciones redundantes destacan la tolerancia a fallos en alguna de sus articulaciones, las mayores capacidades mecánicas y cinemáticas (como mayor transmisibilidad de fuerza, mayor disponibilidad de rango de articulación, mayor destreza, mayor rigidez o menor consumo de energía) y la mejor habilidad para sortear obstáculos (Therón 2002).

Hay un elevado número de aplicaciones para las que pueden ser muy útiles (Sáenz Espinosa et al. 2012): servicio de tanques subterráneos (Sofge et al. 2001) – ya que es más fácil para los robots con forma de serpiente inspeccionar o reparar cualquier componente dañado en un escenario cerrado y subterráneo –,

reactores de centrales nucleares (Chirikjian et al. 1995), sistemas quirúrgicos (Xu et al. 2006) o aeronáutica y exploración espacial (Wingert et al. 2002) (Sujan et al. 2004).

Sin embargo, a pesar de que el estudio de los robots híper-redundantes tiene un recorrido de más de tres décadas, su uso se limita mayoritariamente al campo experimental. Esto es debido a dos razones que están en estudio. En primer lugar, las técnicas de modelado cinemático clásicas no han sido particularmente eficientes o no se han adaptado a las necesidades de la cinemática y a la planificación de tareas de los robots híper-redundantes. Y en segundo lugar, un número elevado de grados de libertad se traduce en un elevado coste de diseño y de producción.

La figura 4 muestra una imagen esquemática de un robot manipulador de tipo soft, es decir, fabricado con materiales blandos, que está actualmente en proceso de construcción.

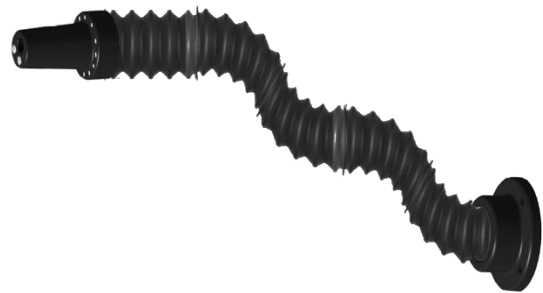


Figura 4: Diseño del robot manipulador continuo, soft e híper-redundante.

6. Interfaz multi-robot

Las misiones con múltiples robots y un solo operador sufren una serie de problemas relacionados con los factores humanos. Dos de estos problemas son el exceso de carga de trabajo (los operadores tienen que recibir información, tomar decisiones y generar comandos para múltiples robots) y la pérdida de la comprensión de la situación (el conocimiento sobre la situación actual y la evolución futura de los robots y su entorno). Estos problemas pueden afectar al rendimiento de la misión e incluso provocar accidentes entre los robots (Roldán et al. 2016a).

Estos problemas se pueden abordar con estrategias como el incremento de la autonomía de los robots, la transferencia de funciones del operador a la flota, el apoyo de la interfaz a las decisiones del operador y la reducción del volumen de información que se proporciona al mismo. La propuesta de este proyecto consiste en descubrir la información de la misión que se esconde entre los datos que generan los robots. La selección de esta información se realiza teniendo en cuenta el estado de la misión y las preferencias del operador, lo que hace necesario el modelado tanto de las misiones como de los operadores (Roldán et al. 2015b).

El modelado de las misiones se realiza de forma automática a partir de la experiencia de las misiones anteriores. El proceso tiene cuatro pasos: a) estudio de la misión, b) preparación de la información, c) descubrimiento de modelos y d) mejora de los mismos. Los modelos resultantes están compuestos por redes de Petri, que sirven para determinar el estado de la misión, y árboles de decisión, que se emplean para predecir su evolución en el futuro (Roldán et al. 2016b).

Por su parte, el modelado de operadores tiene dos vertientes: clasificación de operadores y aprendizaje de sus preferencias. Por un lado, la clasificación de operadores se realiza mediante algoritmos de agrupamiento y permite suministrar a cada operador la información adecuada para su clase. Por ejemplo, un operador experto puede gestionar información más compleja y menos intuitiva que un operador en entrenamiento. Por otro lado, el aprendizaje de las preferencias se realiza mediante redes neuronales y permite que la interfaz se adapte a los operadores. Por ejemplo, si un operador suele necesitar un dato de un robot en un momento de la misión, la interfaz se lo debe proporcionar sin que lo tenga que pedir.

El resultado es una interfaz inteligente y adaptativa que selecciona la información relevante para la misión y apoya las decisiones del operador. Además, se están explorando interfaces multimodales, que transmiten la información de forma visual, auditiva y háptica, así como interfaces inmersivas, que directamente transportan al operador al interior de la misión mediante realidad virtual.

7. ROS multi-robot

Los sistemas de seguridad convencionales pueden verse beneficiados con la inclusión de sistemas multi-robot (MRS) dentro de sus recursos. El incremento del número de agentes se traduce en robustez, reducción del riesgo para los guardias, mayor recorrido de vigilancia e intensificación en ciertas zonas de interés. Estos factores contribuyen al aumento de las capacidades sensoriales, la mejora del conocimiento de la situación y el desarrollo de estrategias de vigilancia particularizadas.

Dentro del proyecto PRIC se ha estudiado la capacidad de los sistemas multi-robot para realizar la inspección de áreas consideradas como vulnerables en infraestructuras críticas. Con este fin, se han comparado las herramientas para la gestión multi-robot presentes en Robot Operating System (ROS), el entorno de desarrollo que se ha convertido en estándar en las aplicaciones robóticas.

A pesar de la evolución constante de ROS, aún no existe una herramienta que resuelva de forma absoluta el problema de la gestión e intercambio de información entre múltiples unidades dentro de un sistema multi-robot (MRS). Actualmente existen dos paquetes de ROS con dos enfoques diferentes que desarrollan estructuras eficientes para el despliegue de MRS: *multimaster_fkie* y *rocon_multimaster*. El primero requiere un menor número de parámetros y está diseñado para despliegues rápidos, mientras que el segundo presenta una mayor robustez a costa de una mayor complejidad.

Adicionalmente, en este proyecto se ha desarrollado una arquitectura MRS basada en ROS. Esta arquitectura combina la información aportada por una red sensorial convencional de seguridad con las capacidades de robots terrestres, permitiendo la optimización de tareas de inspección y vigilancia (Garzón Ramos et al. 2016). La arquitectura MRS fue evaluada mediante la simulación de tareas de inspección de zonas vulnerables en reconstrucciones escenarios reales y sintéticos de infraestructuras críticas. El trabajo realizado permitió la integración conjunta de varios UGV en los experimentos, optimizando la gestión de la información y los servicios compartidos entre los diferentes elementos del MRS.

8. Pruebas y resultados

Los múltiples desarrollos enmarcados en el proyecto PRIC han alcanzado diferentes niveles de madurez y, por tanto, han sido validados en diferentes tipos de escenarios. A continuación se resumen las principales pruebas de los sistemas desarrollados en este proyecto.

Los algoritmos de detección de peatones, predicción de trayectorias e interceptación de intrusos se han validado mediante miles de simulaciones y decenas de pruebas en escenarios reales. Estas pruebas han demostrado el potencial del sistema para detectar, predecir e interceptar a los intrusos en más del 90% de las pruebas en simulación y del 80% de las pruebas en el mundo real (Garzón, 2016).

Además, los desarrollos relacionados con la percepción, la navegación o las comunicaciones fueron empleados en la competición euRathlon 2015. En esta competición, el equipo de robots terrestres realizó satisfactoriamente una misión de búsqueda y rescate en un escenario formado por una playa y un edificio en ruinas.



Figura 5: El equipo de robots durante la competición euRathlon 2015.

En el caso de la interfaz multi-robot, hasta la fecha se han realizado tres prototipos con diferentes funcionalidades que se han integrado en tres entornos diferenciados: los demostradores de uno y varios UAVs del proyecto SAVIER (Situational Awareness Virtual Environment) de Airbus Defence & Space y el banco de pruebas con robots aéreos del Interdisciplinary Centre for Security, Reliability and Trust (SnT) de la Universidad de Luxemburgo. En estas pruebas se han validado las técnicas para modelar las misiones multi-robot, identificar los robots más importantes en cada momento de las misiones y seleccionar la información más relevante de los mismos. La figura 6 muestra una de las pruebas realizadas con una flota de UAVs en un escenario de vigilancia y extinción de incendios.

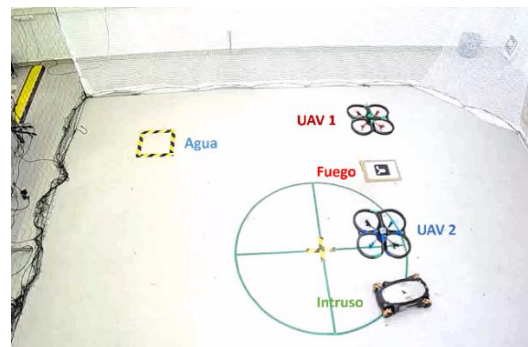


Figura 6: Pruebas de vigilancia y extinción de incendios con UAVs.

Por último, algunos de los algoritmos desarrollados en el contexto de la protección de infraestructuras, han sido aplicados con éxito en otros entornos como la monitorización ambiental de invernaderos con robots aéreos (Roldán et al. 2015a), terrestres (Ruiz-Larrea et al. 2016) y equipos heterogéneos (Roldán et al. 2016c).

9. Conclusiones

Esta comunicación presenta varias actividades y desarrollos enmarcados en el proyecto PRIC. Estos trabajos abarcan tanto el desarrollo de algoritmos para la protección de infraestructuras (detección de anomalías visuales y acústicas y detección, predicción e interceptación de intrusos) como el desarrollo de robots especiales para entornos de desastre (robot de búsqueda y rescate y manipulador híper-redundante). Además, este proyecto investiga herramientas de gestión e interfaz de usuario para sistemas multi-robot.

Agradecimientos

La investigación que ha llevado a estos resultados ha recibido fondos de los proyectos RoboCity2030-III-CM (Robótica aplicada a la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos, fase III; S2013/MIT-2748), financiado por los Programas de Actividades I+D en la Comunidad de Madrid y cofinanciado por los Fondos Estructurales de la Unión Europea, DPI2014-56985-R (Protección robotizada de infraestructuras críticas), financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España y SAVIER (Situational Awareness Virtual EnviRonment), dirigido y financiado por Airbus Defence & Space.

Referencias

- Chirikjian, G.S. & Burdick, J.W., 1995. A Hyper-Redundant Manipulator, IEEE Robotics and Automation Magazine.
- De León Rivas, J., 2015. Definición y análisis de los modos de marcha de un robot hexápodo para tareas de búsqueda y rescate. Master's thesis, Escuela técnica superior de ingenieros industriales - Universidad politécnica de Madrid.
- Diller, E. D., 2010. Design of a biologically-inspired climbing hexapod robot for complex maneuvers. Master's thesis, Department of mechanical engineering, case Western Reserve University.
- Dollar, P., Wojek, C., Schiele, B. & Perona, P., 2012. Pedestrian detection: An evaluation of the state of the art. IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Intell., 34.
- Fotiadis, E.P., Garzon, M. & Barrientos, A., 2013. Human Detection from a Mobile Robot Using Fusion of Laser and Vision Information. Sensors, 13 - 9, pp. 11603 - 11635.
- Garzón M., Fotiadis E.P., Barrientos A. & Spalanzani A., 2014. RiskRRT-based planning for interception of moving objects in complex environments. In: ROBOT2013: First Iberian Robotics Conference, Springer.
- Garzón M., Barrientos A., Del Cerro J., Alacid A., Fotiadis E.P., Rodríguez-Canosa G. & Wang B-C, 2015. Tracking and following pedestrian trajectories, an approach for autonomous surveillance of critical infrastructures. Industrial Robot: An International Journal; 42(5): 429-440.
- Garzon Oviedo, M. A., 2016. Tracking and intercepting pedestrians: a robotic approach to surveillance of critical infrastructures (Doctoral dissertation, Industriales).
- Garzón Ramos, David Alfredo; Garzón Oviedo, Mario y Barrientos Cruz, Antonio, 2016. Protección Multi-robot de Infraestructuras: Un Enfoque Cooperativo para Entornos con Información Limitada. En: "XXXVII Jornadas de Automática", 7 al 9 de Septiembre 2016, Madrid (Spain). ISBN 978-84-617-4298-1. pp. 1132-1139.
- Kunwar, F., Sheridan, P.K. & Benhabib, B. Predictive guidance-based navigation for mobile robots: A novel strategy for target interception on realistic terrains, Journal of Intelligent and Robotic Systems 59 (3-4) (2010) 367-398.
- Mills, J. W., 1993. Stiquito: A small, simple, inexpensive hexapod robot. Tech. Rep. 36a, Computer Science Department. Indiana University
- Murphy, R. R., 2014. Disaster Robotics. The MIT Press.
- Murphy, R. R., Tadokoro, S., Nardi, D., Jacoff, A., Fiorini, P., Choset, H., & Erkmén, A. M., 2008. Handbook of Robotics. Springer, ch. 50, pp. 1151– 1173
- Roldán, J. J., Joossen, G., Sanz, D., del Cerro, J., & Barrientos, A., 2015a. Mini-UAV based sensory system for measuring environmental variables in greenhouses. Sensors, 15(2), 3334-3350.
- Roldán, J. J., del Cerro, J., & Barrientos, A., 2015b. A proposal of methodology for multi-UAV mission modeling. In Control and Automation (MED), 2015 23th Mediterranean Conference on (pp. 1- 7). IEEE.
- Roldán Gómez, J. J., Cerro Giner, J. D., & Barrientos Cruz, A., 2016a. Multiple Robots, Single Operator: Considerations About Information And Commanding.
- Roldán, J. J., Garcia-Aunon, P., del Cerro, J., & Barrientos, A., 2016b. Determining mission evolution through UAV telemetry by using decision trees. In Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2016 IEEE International Conference on (pp. 000188-000193). IEEE.
- Roldán, J. J., Garcia-Aunon, P., Garzón, M., de León, J., del Cerro, J., & Barrientos, A., 2016c. Heterogeneous Multi-Robot System for Mapping Environmental Variables of Greenhouses. Sensors, 16(7), 1018.
- Ruiz-Larrea, A., Roldán, J. J., Garzón, M., del Cerro, J., & Barrientos, A., 2016. A UGV Approach to Measure the Ground Properties of Greenhouses. In Robot 2015: Second Iberian Robotics Conference (pp. 3-13). Springer International Publishing.
- Sáenz Espinoza, M., Gonçalves, J., Leitao, P., González Sánchez, J.L. & Herreros, A., 2012. Inverse Kinematics of a 10 DOF Modular Hyper-Redundant Robot Resorting to Exhaustive and Error-Optimization Methods: A Comparative Study, Brazilian Robotics Symposium and Latin American Robotics Symposium.
- Sofge, D. & Chiang, G., 2001. Design, implementation and cooperative coevolution of an autonomous/teleoperated control system for a serpentine robotic manipulator, Proceedings of the American Nuclear Society Ninth Topical Meeting on Robotics and Remote Systems, Seattle Washington.
- Sujan, V. & Dubowsky, S., 2004. Design of a Lightweight Hyper-Redundant Deployable Binary Manipulator, Journal of Mechanical Design, 126(1).
- Therón, R., 2002. Cálculo Paralelo del Espacio de las Configuraciones para Robots Redundantes, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca.
- Tordesillas Torres, J., 2016. Diseño y simulación del sistema de locomoción de un robot hexápodo para tareas de búsqueda y rescate. Master's thesis, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales - Universidad Politécnica de Madrid.
- Ueda H., Lee J., Okamoto S., Yi B.J. & Yuta S., 2011. People tracking method for a mobile robot with laser scanner and omni directional camera. In: Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI), 2011 8th International Conference on, pp 503 – 507.
- Wingert, A., Lichter, M., Dubowsky, S. & Hafez, M., 2002. Hyper-Redundant Robot Manipulators Actuated by Optimized Binary Dielectric Polymers, Smart Structures and Materials Symposium, San Diego, CA, USA.
- Wu B.F., Jen C.L., Li W.F., Tsou T.Y., Tseng P.Y., Hsiao K.T., 2013. Rgb-d sensor based slam and human tracking with bayesian framework for wheelchair robots. In: Advanced Robotics and Intelligent Systems (ARIS), 2013 International Conference on, pp 110 – 115.
- Xavier, J., Pacheco, M., Castro, D., Ruano, A. & Nunes, U., 2005. Fast Line, Arc/Circle and Leg Detection from Laser Scan Data in a Player Driver. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Barcelona, Spain; pp. 3930–3935.
- Xu, K. & Simaan, N., 2006. Actuation Compensation for Flexible Surgical Snake-like Robots with Redundant Remote ActuationProceedings, IEEE International Conference on Robotics and Automation, Orlando, Florida.